发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血脂、血糖水平的调节作用[1]

沈黄冕[1] 彭祥和[1] 林仕梅[1*] 陈拥军[1] 黄先智[2]

（1.西南大学动物科技学院，淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室，重庆 400716；2.西南大学蚕学与系统生物学研究所，重庆 400716)

摘　要：本试验采用高脂饲料诱导建立高脂血症罗非鱼模型，以研究发酵桑叶对高血脂症罗非鱼血脂、血糖水平的调节作用。将初始均重为 45 g 的 450 尾雄性吉富罗非鱼随机分成 5 组，每组设 3 个重复，每个重复 30 尾鱼。正常对照组罗非鱼饲喂基础饲料，其他 4 组罗非鱼在高脂血症模型建成后分别饲喂基础饲料（模型对照组），含 7.5%和 15.0%发酵桑叶的饲料（分别为发酵桑叶低剂量组和发酵桑叶高剂量组）以及含 0.5%银杏黄酮的饲料（银杏黄酮组）。试验期为 8 周。结果表明：饲养 5 和 8 周后，模型对照组罗非鱼体重显著低于正常对照组、发酵桑叶低剂量组和发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组（P<0.05），而发酵桑叶高剂量组罗非鱼的体重与正常对照组无显著差异（P>0.05）。发酵桑叶低剂量组、发酵桑叶高剂量组和银杏黄酮组罗非鱼血清总胆固醇（TCHO）、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量和 TCHO/高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)显著低于模型对照组（P<0.05），而发酵桑叶高剂量组罗非鱼血清 TCHO、甘油三酯（TG）、LDL-C 含量和 TCHO/HDL-C 与正常对照组无显著差异（P>0.05）。与模型对照组相比，发酵桑叶高剂量组和银杏黄酮组罗非鱼血清 HDL-C 含量显著升高（P<0.05）。与模型对照组相比，正常对照组、发酵桑叶低剂量组和发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组罗非鱼血清超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化氢酶（CAT）活性以及 CAT/SOD 显著升高（P<0.05），而血清丙二醛（MDA）含量和肝脂含量以及肝体指数（HSI）显著降低（P<0.05）；而上述这些指标在发酵桑叶高剂量组与正常对照组之间无显著差异（P>0.05）。高脂饲料使模型对照组、发酵桑叶低剂量组、发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组罗非鱼的血糖水平显著升高（0 周，P<0.05）；饲养 8 周后，发酵桑叶高剂量组和银杏黄酮组罗非鱼血糖水平显著低于模型对照组（P<0.05），而与正常对照组差异不显著（P>0.05）。由上可知，发酵桑叶能剂量依赖性地降低高脂血症罗非鱼的血脂、血糖水平，提高机体的抗氧化能

收稿日期：2015-10-29

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201303053）；重庆市现代特色效益农业产业技术体系（渝农办发〔2015〕91 号）；中央高校基本科研业务费（XDJK2015A001）

作者简介：沈黄冕（1993-），男，浙江仙居人，硕士研究生，从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: shenhuangmian@hotmail.com

*通信作者：林仕梅，副教授，硕士生导师，E-mail: linsm198@163.com

力，预防高脂血症的发生发展。

关键词：发酵桑叶；罗非鱼；高脂血症；抗氧化

中图分类号:S963　　文献标识码:A　　文章编号:

高脂血症是导致鱼类脂肪肝的重要因素，已引起广泛的关注。研究发现，饲料或营养因子同样会引起养殖鱼类脂质代谢紊乱[1-2]，诱发出现营养性脂肪肝，继而影响养殖鱼类生存、生长和品质。桑叶药食兼佳，在我国资源丰富，其因富含降糖降脂功能活性物质（多糖、黄酮、生物碱）而受人们的关注[3-4]。动物学试验表明，饲料中添加桑叶或其提取物可以通过多种途径实现降糖、降脂功效[5-6]。本课题组前期研究也证实，桑叶可有效调节鱼体的脂质代谢[7]。为进一步证实桑叶降脂的功效，本试验通过高脂饲料诱导罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）出现高脂血症，然后观察发酵桑叶对罗非鱼高血脂和高血糖的影响，为桑叶在水产饲料中的开发利用提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、豆粕、菜籽粕和棉籽粕为蛋白质源，以豆油为脂肪源，配制基础饲料。在基础饲料中分别用 7.5%、15.0%的发酵桑叶（采用乳酸菌、酵母菌、芽孢杆菌和固氮菌进行固态发酵而成，其干物质含量为 32.5%，粗蛋白质含量为 24.7%，粗脂肪含量为 10.3%，粗灰分含量为 8.7%）及 0.5%的银杏黄酮（深圳海王药业有限公司产品，批准文号：国药准字 Z20050178，规格：每片含总黄酮醇苷 9.6 mg、萜类内酯 2.4 mg）替代等量的面粉，配制成 3 种等氮等能的饲料。试验饲料组成及营养水平见表 1。饲料原料过 245 μm 筛网，采取逐级扩大法混合均匀，制成粒径分别为 2.5 和 4.0 mm 的颗粒饲料，自然风干后于 4 ℃冰柜中保存备用。

表 1　试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	基础饲料 Basal diet	发酵桑叶饲料 Fermented mulberry leaves diet		银杏黄酮饲料 Ginkgo flavone diet
		低剂量 Low level (7.5%)	高剂量 High level (15.0%)	
原料 Ingredients				
鱼粉 Fish meal	5.0	5.0	5.0	5.0
豆粕 Soybean meal	20.0	18.0	17.0	20.0
籽菜粕 Rapeseed meal	23.0	22.0	22.0	23.0
棉籽粕 Cotton meal	16.0	16.0	16.0	16.0
米糠 Rice bran	8.0	8.0	8.0	8.0
发酵桑叶 Fermented mulberry leaves		7.5	15.0	
银杏黄酮 Ginkgo flavone				0.5

面粉 Wheat flour	22.8	18.3	11.8	22.3
豆油 Soybean oil	2.0	2.0	2.0	2.0
维生素预混物 Vitamin premix1)	1.0	1.0	1.0	1.0
矿物质预混物 Mineral premix2)	2.0	2.0	2.0	2.0
氯化胆碱 Choline chloride （50%）	0.2	0.2	0.2	0.2
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels				
粗蛋白质 Crude protein	32.6	32.4	32.2	32.5
粗脂肪 Crude lipid	4.76	5.12	5.12	4.73
粗灰分 Crude ash	6.37	6.75	6.75	6.42
总能 Gross energy/(MJ/kg)	15.71	15.42	15.21	15.69

1)维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 16.67 mg，VD_3 3.33 mg，VE 26.67 mg，VC 333.33 mg，VB_1 8 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.03 mg，VK_3 3.33 mg，核黄素 riboflavin 3.33 mg，肌醇 inositol 66.67 mg，泛酸 pantothenic acid 20 mg，烟酸 niacin 23.33 mg，叶酸 folic acid 1.33 mg，生物素 biotin 0.04 mg，乙氧基喹啉 ethoxyquin 100 mg，次粉 wheat middling 9.39 g。

2)矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：KCl 133.33 mg，KI 40 mg，$CoCl_2·6H_2O$ 4.67 mg，$CuSO_4·5H_2O$ 9.33 mg，$FeSO_4·H_2O$ 266.67 mg，$ZnSO_4·H_2O$ 133.33 mg，$MnSO_4·H_2O$ 53.33 mg，$Na_2SeO_3·5H_2O$ 43.33 mg，$MgSO_4·7H_2O$ 2 000 mg，$Ca(H_2PO4)_2·H_2O$ 13.33 g，NaCl 90.67 mg。

1.2 高脂血症罗非鱼模型的建立

将初始均重为 45 g 的 450 尾雄性吉富罗非鱼随机分成 5 组（正常对照组和 4 个模型组），每组设 3 个重复，每个重复 30 尾鱼。正常对照组饲喂基础饲料；模型组饲喂高脂饲料（高脂饲料组成：猪油 10%，胆固醇 2%及基础饲料 88%）2 周，罗非鱼出现高脂血症后进入正式试验。

在罗非鱼高脂血症模型建成后，其中 2 个模型组分别饲喂含 7.5%和 15.0%发酵桑叶的试验饲料；1 个模型组饲喂基础饲料；1 个模型组设为模型对照组，即饲喂含 0.5%银杏黄酮的试验饲料。在室内淡水循环水族缸（有效体积为 300 L）中饲养罗非鱼 8 周，日投饲率为体重的 4%～6%，每天 08:30、13:30、18:30 各投喂 1 次。水源为曝气自来水，试验期间水温为（26.7±2.1）℃，溶解氧浓度>6.7 mg/L，pH 为 7.3±0.5，氨氮<浓度 0.57 mg/L，亚硝酸盐氮浓度<0.09 mg/L。

1.3 样品制备与分析

试验开始前（0 周）及试验开始后的 2、5、8 周分别测定各组试验鱼的体重。然后每饲喂 10 天，取血样检测全血中葡萄糖（血糖）水平的动态变化。饲养试验结束后，禁食 24 h 后称重，每个重复随机取 4 尾鱼，用 MS-222 进行麻醉，剥离出内脏、肝胰脏，用于肝体指数（HSI）和肝脂含量的测定；每个重复另随机取 3 尾鱼于尾静脉取血，于 4 000×*g* 4 ℃条件下离心 10 min，收集血清，-20 ℃保存备用。

血清指标均采用全自动生化分析仪（日立 7100）测定，包括总胆固醇（TCHO）、甘油三酯（TG）、高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）和低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）含量。血清超氧化物

歧化酶（SOD）和过氧化氢酶（CAT）活性以及丙二醛（MDA）含量采用试剂盒（南京建成生物工程研究所生产）进行测定。血糖水平采用上海强生血糖仪测定。蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定。

1.4 数据处理与分析

试验数据以平均值±标准误表示，采用 SPSS 22.0 对所得数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，若差异显著，再进行 Tukey’s 多重比较。

2 结果与分析

2.1 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼体重的影响

由表 2 可知，试验开始时及饲养 2 周后，各组罗非鱼体重无显著差异（P>0.05）。饲养 5 和 8 周后，模型对照组罗非鱼体重显著低于正常对照组、发酵桑叶低剂量组和发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组（P<0.05），而发酵桑叶高剂量组罗非鱼的体重与正常对照组无显著差异（P>0.05）。养殖试验结束后，各组罗非鱼体重均有不同程度的增长。

表 2 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼体重的影响

Table 2 Effects of fermented mulberry leaves on body weight of hyperlipidemia tilapia

组别 Groups	饲喂时间 Feeding time/周			
	0	2	5	8
正常对照组 Normal control group	44.67±0.36	61.62±1.07	113.54±2.16^{a}	156.7±2.07^{a}
模型对照组 Model control group	45.23±0.48	60.14±1.32	82.75±1.31^{c}	117.4±1.64^{c}
发酵桑叶低剂量组 Low level fermented mulberry leaves group	45.14±0.63	59.76±1.71	93.31±1.17^{b}	139.7±2.13^{b}
发酵桑叶高剂量组 High level fermented mulberry leaves group	44.82±0.29	61.23±2.04	101.67±1.65^{ab}	153.6±2.57^{ab}
银杏黄酮组 Ginkgo flavone group	45.31±0.74	60.91±1.83	96.91±1.38^{b}	149.8±1.89^{ab}

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同字母表示差异显著(P＜0.05)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference

(P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血脂指标的影响

由表 3 可知，饲养 8 周后，发酵桑叶低剂量组、发酵桑叶高剂量组和银杏黄酮组罗非鱼血清 TCHO、LDL-C 含量和 TCHO/HDL-C 显著低于模型对照组（P<0.05），而发酵桑叶高剂量组罗非鱼血清 TCHO、TG、LDL-C 含量和 TCHO/HDL-C 与正常对照组无显著差异（P>0.05）。与模型对照组相比，发酵桑叶高剂量组和银杏黄酮组罗非鱼血清 HDL-C 含量显著升高（P<0.05）。

表 3 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血脂指标的影响

Table 3 Effects of fermented mulberry leaves on serum lipid indices of hyperlipidemia tilapia

组别 Groups	总胆固醇 TCHO/(mmol/L)	甘油三酯 TG/(mmol/L)	高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	总胆固醇/高密度胆固醇 TCHO/HDL-C
正常对照组 Normal control group	2.67 ± 0.32^{d}	1.32 ± 0.13^{d}	1.64 ± 0.16^{a}	0.73 ± 0.07^{c}	1.63 ± 0.24^{d}
模型对照组 Model control group	5.23 ± 0.67^{a}	2.74 ± 0.28^{a}	0.78 ± 0.06^{d}	2.89 ± 0.67^{a}	6.71 ± 1.37^{a}
发酵桑叶低剂量组 Low level fermented mulberry leaves group	4.26 ± 0.38^{b}	2.46 ± 0.21^{ab}	0.95 ± 0.07^{cd}	1.97 ± 0.22^{b}	4.48 ± 0.79^{b}
发酵桑叶高剂量组 High level fermented mulberry leaves group	3.12 ± 0.27^{cd}	1.76 ± 0.16^{cd}	1.36 ± 0.14^{ab}	1.48 ± 0.19^{bc}	2.29 ± 0.56^{cd}
银杏黄酮组 Ginkgo flavone group	3.31 ± 0.29^{c}	1.93 ± 0.19^{bc}	1.18 ± 0.18^{bc}	1.67 ± 0.17^{b}	2.81 ± 0.73^{c}

2.3 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血清抗氧化指标、肝脂含量以及肝体指数的影响

由表 4 可知，与模型对照组相比，正常对照组、发酵桑叶低剂量组和发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组罗非鱼血清 SOD、CAT 活性以及 CAT/SOD 显著升高（P<0.05），而血清 MDA 含量和肝脂含量以及 HSI 显著降低（P<0.05）。而上述这些指标在发酵桑叶高剂量组与正常对照组之

间无显著差异（*P*>0.05）。

表 4 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血清抗氧化指标、肝脂含量以及肝指数的影响

Table 4 Effects of fermented mulberry leaves on serum antioxidant indices, hepatopancreas lipid content and HSI of hyperlipidemia tilapia

组别 Groups	血清抗氧化指标 Serum antioxidant indices				肝脂含量 Hepatopancreas lipid content/%	肝体指数 HSI
	超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg)	过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	CAT/SOD 过氧化氢酶/超氧化物歧化酶	丙二醛 MDA/(nmol/mL)		
正常对照组 Normal control group	82.34±3.51^{a}	4.32±0.23^{a}	0.052±0.003^{a}	0.32±0.03^{d}	5.86±0.59^{d}	2.43±0.21^{d}
模型对照组 Model control group	35.16±1.52^{d}	1.29±0.07^{d}	0.037±0.006^{c}	0.97±0.08^{a}	9.65±1.06^{a}	3.75±0.48^{a}
发酵桑叶低剂量组 Low level fermented mulberry leaves group	49.37±1.73^{c}	2.27±0.12^{c}	0046±0.007^{b}	0.73±0.06^{b}	7.52±0.97^{b}	3.05±0.36^{b}
发酵桑叶高剂量组 High level fermented mulberry leaves group	68.59±2.35^{ab}	3.65±0.18^{ab}	0.053±0.008^{a}	0.39±0.04^{d}	6.28±0.75^{cd}	2.57±0.25^{cd}
银杏黄酮组 Ginkgo flavone group	57.71±2.06^{bc}	2.89±0.15^{bc}	0.050±0.005^{ab}	0.57±0.06^{c}	6.79±0.83^{bc}	2.73±0.29^{bc}

2.4 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血糖水平的影响

由表 5 可见，相比正常对照组，高脂饲料造模使模型对照组、发酵桑叶低剂量组、发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组罗非鱼的血糖水平显著升高（0 周，*P*<0.05）。饲养 2 和 4 周后，模型对照组、发酵桑叶低剂量组、发酵桑叶高剂量组以及银杏黄酮组罗非鱼的血糖水平仍显著低于正常对照组（*P*<0.05）。饲养 8 周后，发酵桑叶高剂量组和银杏黄酮组罗非鱼血糖水平显著低于模型

对照组（P<0.05），而与正常对照组差异不显著（P>0.05）。

表 5 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血糖水平的影响

Table 5 Effects of fermented mulberry leaves on blood glucose level of hyperlipidemia tilapia

组别 Groups	饲喂时间 Feeding time/周			
	0	2	5	8
正常对照组 Normal control group	3.86±0.58^{b}	4.02±0.67^{b}	4.27±0.36^{b}	4.16±0.45^{c}
模型对照组 Model control group	7.42±1.13^{a}	6.78±1.32^{a}	6.55±1.02^{a}	6.18±0.76^{a}
发酵桑叶低剂量组 Low level fermented mulberry leaves group	6.74±0.87^{a}	6.12±1.02^{a}	6.37±1.17^{a}	5.56±0.47^{ab}
发酵桑叶高剂量组 High level fermented mulberry leaves group	7.21±1.21^{a}	6.33±1.15^{a}	5.72±0.65^{a}	4.59±0.38^{c}
银杏黄酮组 Ginkgo flavone group	6.83±0.74^{a}	6.13±0.86^{a}	6.27±0.59^{a}	5.38±0.61^{b}

3 讨 论

脂质的异常，尤其是血清 TCHO、TG 和 LDL-C 含量升高以及 HDL-C 含量的降低，在鱼类脂肪肝的发病中具有重要意义[8]。本试验结果显示，发酵桑叶可降低高脂血症罗非鱼血清 TCHO 和 TG 含量，同时增加血清 HDL-C 含量，降低 LDL-C 含量和 CHO/HDL-C，并呈现剂量依赖性。这表明发酵桑叶具有降低高脂血症罗非鱼血脂水平的活性，其可能是通过增加胆固醇的逆向转运来实现的。已有研究表明，银杏黄酮通过提高血浆 HDL-C 含量、降低血浆胆固醇含量来起到调节血脂水平的作用[9]。本试验结果也同样证实，银杏黄酮能够降低高脂血症罗非鱼血脂水平。这提示发酵桑叶调节血脂水平可能是通过影响血脂相关指标来实现的，关于桑叶调节鱼类血脂水平的机制尚需进一步探究。

正常情况下，SOD 主要清除氧自由基，减轻或避免自由基和脂质过氧化物对动物机体造成的损伤。而 CAT 将 SOD 清除活性氧时产生的过氧化氢(H_2O_2)转化为水(H_2O)，保护机体免受损伤。本研究发现，预防性给予发酵桑叶能够增加高脂血症罗非鱼血清 SOD 和 CAT 活性以及 CAT/SOD，降低血清 MDA 含量。已有研究指出，桑叶中的黄酮是通过提高机体抗氧化能力，促

进胰岛素分泌，加快葡萄糖氧化分解这种途径达到降低血糖水平的[10]。本试验结果也进一步证实这种推断，即饲料中添加发酵桑叶可能通过提高机体抗氧化能力及抑制脂质过氧化反应，改善脂质代谢功能，从而起到降低血糖水平、调节血脂水平的作用。桑叶中含有生物碱 1-脱氧野尻霉素(1-deoxynojirimycin，DNJ)和黄酮类物质，能够抑制动物肠道刷状缘膜上二糖酶的活性，减缓肠道对碳水化合物的消化和吸收，同时具有调控肝脏中糖代谢过程关键酶活性的作用，从而调控机体三大营养物质的代谢与转化[6]。由此可见，桑叶中不同有效成分降血糖的机制不一，但其作用机制已涉及到 c-Jun 氨基末端激酶（JNK）信号通路[11]。众所周知，鱼类对碳水化合物的利用能力较低，提升鱼类对饲料糖的耐受能力具有重要的实践意义。在水产动物上桑叶究竟通过何种机制实现降糖，有待于深入研究。

4 结 论

发酵桑叶能剂量依赖性地降低高脂血症罗非鱼的血脂、血糖水平，提高机体的抗氧化能力，预防高脂血症的发生发展。

参考文献：

[1] 宋理平,冒树泉,马国红,等.饲料脂肪水平对许氏平鲉脂肪沉积、血液生化指标及脂肪代谢酶活性的影响[J].水产学报,2014,38(11):1879-1888.

[2] LIN S M,LUO L.Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth,digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia,*Oreochromis niloticus*×*O.aureus*[J].Animal Feed Science and Technology,2011,168:80-87.

[3] PARK M Y,LEE K S,SUNG M K.Effects of dietary mulberry,Korean red ginseng,and banaba on glucose homeostasis in relation to PPAR-a,PPAR-γ,and LPL mRNA expressions[J].Life Sciences,2005,77:3344–3354.

[4] KATSUBE T,IMAWAKA N,KAWANO Y,et al.Antioxidant flavonol glycosides in mulberry (*M.alba* L.) leaves isolated based on LDL antioxidant activity[J].Food Chemistry,2006,97:25-31.

[5] 陈建国,步文磊,来伟旗,等.桑叶多糖降血糖作用及其机制研究[J].中草药,2011,42(3):515-520.

[6] 李有贵,钟石,吕志强,等.饲料中添加桑叶粉对单胃哺乳动物小鼠的脂肪代谢影响[J].蚕业科

学,2012,38(3):0401-0411.

[7] 李法见,杨阳,陈文燕,等.桑叶粉对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响[J].动物营养学报,2014,26(11):3485-3492.

[8] 林鑫,李法见,林仕梅,等.不同碳链长度 n-3 脂肪酸及脂肪水平对罗非鱼生长、肝功能和餐后血液指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):775-784.

[9] WANG D W,ZHU H,GAO E.Pharmacological action and clinical application on total Ginkgo flavone glycosides[J].Food Drug,2006,8(6):7-9.

[10] 陈玲玲,刘炜,陈建国,等.桑叶黄酮对糖尿病小鼠调节血糖的作用机制研究[J].中国临床药理学杂志,2010,26(11):835-838.

[11] 罗明琍.桑叶有效部位降血糖作用与 JNK 信号通路的关系[D].博士学位论文.广州:广州中医药大学,2013.

Effects of Fermented Mulberry Leaves on Serum Lipid and Blood Glucose Levels of Hyperlipidemia Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

SHEN Huangmian[1] PENG Xianghe[1] LIN Shimei[1*] CHEN Yongjun[1] HUANG Xianzhi[2]

（1. *Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing* 400716*, China;* 2. *Institute of Sericulture and Systems Biology, Southwest University, Chongqing* 400716*, China*)

Abstract: The models of hyperlipidemia tilapia induced by high-fat diet were established to explore the effects of fermented mulberry leaves on serum lipid and blood glucose levels of hyperlipidemia tilapia (*Oreochromis niloticus*). A total of 450 tilapias with the initial average body weight of 45 g were randomly divided into 5 groups with 3 replicates per group, and 30 fish in each replicate. The fish in normal control group were fed with a basal diet, and the other 4 groups were fed the basal diet (model control group) and diets contained 7.5% and 15.0% fermented mulberry leaves (low level fermented

*Corresponding author, associate professor, E-mail: linsm198 @163.com （责任编辑 菅景颖）

mulberry leaves group and high level fermented mulberry leaves group, respectively), and 0.5% ginkgo flavone (ginkgo flavone group) after the establishment of the hyperlipidemia model, respectively. The experiment lasted for 8 week. The results were showed as follows: after feeding 5 and 8 weeks, the body weight in model control group was significantly lower than that in normal control group, low level fermented mulberry leaves group, high level fermented mulberry leaves group and ginkgo flavone group ($P<0.05$), but no significant difference was found between high level fermented mulberry leaves group and normal control group （$P>0.05$）. The serum total cholesterol (TCHO) and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) contents and TCHO/high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) in low level fermented mulberry leaves group, high level fermented mulberry leaves group and ginkgo flavone group were significantly lower than those in model control group ($P<0.05$), but no significant differences were found in the serum of TCHO, triglyceride (TG), LDL-C contents and TCHO/HDL-C between high level fermented mulberry leaves group and normal control group （$P>0.05$）. Compared with the model control group, the serum HDL-C content in high level fermented mulberry leaves group and ginkgo flavone group were significantly increased ($P<0.05$). Compared with the model control group, the serum of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities and CAT/SOD were significantly increased ($P<0.05$) and the serum MDA content, hepatopancreas lipid content and hepatosomatic index （HSI） were significantly decreased ($P<0.05$) in normal control group, low level fermented mulberry leaves group, high level fermented mulberry leaves group and ginkgo flavone group, but no significant differences were found in above indices between high level fermented mulberry leaves group and normal control group （$P>0.05$）. High-fat diet could significantly increase the blood glucose level in model control group, low level fermented mulberry leaves group, high level fermented mulberry leaves group and ginkgo flavone group （0 week, $P<0.05$）; after feeding 8 weeks, the blood glucose level in high

level fermented mulberry leaves group and ginkgo flavone group were significantly decreased than that in model control group ($P<0.05$), but had no significant difference compared with normal control group （$P>0.05$）. These results indicate that fermented mulberry leaves can decrease the serum lipid and blood glucose levels, enhance the antioxidant ability and prevent the hyperlipidemia disease of hyperlipidemic tilapia with a dose-dependent manner.

Key words: fermented mulberry leaves; tilapia (*Oreochromis niloticus*); hyperlipidemia; antioxidant